

# VU Research Portal

## The Eye as a Window to Cognition

van Slooten, J.C.

2020

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

van Slooten, J. C. (2020). *The Eye as a Window to Cognition: Pupil Dilations and Blink Rate as Measures of Value-Based Learning and Decision-Making*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

---

## Nederlandse samenvatting

---

Een aanzienlijk gedeelte van ons leven spenderen we op school, waar we leren over rekenen, taal en andere belangrijke vaardigheden. Waar we ons echter minder van bewust zijn, is dat de meeste kennis die we opdoen gedurende ons leven ontstaat door te leren van onze interacties met de omgeving. Van kinds af aan leerden we kruipen, springen of rondkijken zonder dat iemand ons expliciet instrueerde hoe we dit moesten doen. Het is door onze ervaringen met de omgeving dat we dit leerden en dit zullen we ons hele leven blijven doen. Dit type leren wordt bekrachtigingsleren, of '*reinforcement*' leren genoemd en bestaat uit verschillende mentale processen die samen leren mogelijk maken. Allereerst besluit een individu om een actie uit te voeren, door een keuze te maken. Bijvoorbeeld door te besluiten een voetbal te schoppen richting een doel. Ten tweede volgt er feedback vanuit de omgeving over het resultaat van deze actie: de voetbal raakt het doel; een positieve bekrachtiging volgt. Van deze succesvolle interactie wordt geleerd, zodat dezelfde traptechniek gebruikt kan worden in een volgende actie op het doel. In vrijwel alle theorieën over reinforcement leren wordt deze scheiding tussen het maken van acties en het observeren van uitkomsten gemaakt. In dit proefschrift beschrijven we hoe deze verschillende mentale processen die reinforcement leren mogelijk maken

---

weerspiegeld zijn in het oog.

Een belangrijk inzicht vanuit psychologisch en neurowetenschappelijk onderzoek is dat de bewegingen van de oogspieren informatie geven over processen die plaatsvinden in het brein. Decennialang hebben onderzoekers deze kennis gebruikt om mentale processen te bestuderen die ten grondslag liggen aan ons gedrag. Zo is de vernauwing of verwijding van de pupil als gevolg van een taak of een gebeurtenis veelvuldig bestudeerd om te achterhalen wat op dat moment plaatsvindt in het brein. Denk aan de effecten van verschillende soorten drugs op de pupilgrootte, bijvoorbeeld. Ook de frequentie waarmee we spontaan met onze ogen knipperen, ook wel de spontane oogknipper frequentie (*spontaneous eye blink rate*; sEBR) genoemd, geeft informatie over specifieke breinprocessen. In dit proefschrift onderzoeken we hoe de pupil respons en de sEBR gebruikt kunnen worden om reinforcement leren in het brein te bestuderen.

De pupil respons en de sEBR reflecteren verschillende mentale processen die door verschillende boodschapperstoffen in de hersenen worden beïnvloed. Zo veroorzaakt de boodschapperstof noradrenaline een verwijding van de pupil na het zien van een verrassende of opvallende gebeurtenis die arousal veroorzaakt. Daarnaast vertelt de sEBR iets over de hoeveelheid van de boodschapperstof dopamine in het beloningscentrum van het brein. Het is al lang bekend dat dopamine een belangrijke speelt rol in hoe wij leren van beloning, en vormt daarmee de hoeksteen van reinforcement leren. Door de pupil respons en de sEBR samen te bestuderen hebben we gekeken hoe arousal en beloningsprocessen van invloed zijn op reinforcement leren en specifiek, hoe dit gereflecteerd is in het oog. Wat vertellen fluctuaties in de pupil respons en individuele verschillen in de sEBR ons over reinforcement leren? En over welke specifieke onderliggende mentale processen geven ze ons informatie? In dit proefschrift heb ik geprobeerd antwoorden op deze vragen te geven.

**Hoofdstuk 1** geeft een beknopt overzicht van de anatomie en fysiologie van de pupil respons en de totstandkoming van spontane oogknippers. Ook

---

wordt hier in vogelvlucht een historische schets gegeven van belangrijke onderzoeken die hebben geleid tot de huidige kijk op de mentale processen die worden gereflecteerd in de pupil respons en spontane oogknippers. In de meest dominante visie over de oorzaak van pupil verwijdingen speelt arousal een belangrijke rol. Zowel het zien van een schattige baby, het maken van een ingewikkelde rekensom, maar ook het zien van een dood lichaam veroorzaakt een niet te onderdrukken verwijding van de pupil. Pupil verwijding lijkt dus een gevolg van het verwerken van belangrijke of opvallende informatie, ongeacht of deze informatie prettig of onprettig is. Recente technologische ontwikkelingen in eye-tracking technieken en hersenonderzoek hebben deze bevindingen verder gespecificeerd. Zo laten verscheidene studies zien dat pupil verwijding plaatsvindt tijdens leren en het maken van beslissingen. Ook lijkt pupil verwijding samen te gaan met het vrijkomen van noradrenaline in de locus coeruleus, een kleine hersenkern gelegen in de hersenstam. Echter weten we uit veel ander neurowetenschappelijk onderzoek dat juist bij leren en het maken van beslissingen dopamine en het verwerken van beloning erg belangrijk is. Hoe vertaalt deze kennis zich dit tot de pupil? Is het zo dat de invloeden op de pupil reiken tot die van arousal en noradrenaline? Of spelen er ook andere mentale processen en boodschapperstoffen een rol in de beïnvloeding van de pupil?

In **Hoofdstuk 2** gaan we dieper in op deze vraag door fluctuaties in de pupil respons over tijd tijdens reinforcement leren te onderzoeken. Om deze relatie gedetailleerd te kunnen bestuderen maakten we gebruik van een cognitief model. Met een cognitief model kan uit gemaakte keuzes van proefpersonen tijdens een reinforcement leertaak afgeleid worden welke onderliggende mentale processen het leerproces veroorzaakten. Vervolgens onderzochten we of de pupil gevoelig was voor deze onderliggende mentale leerprocessen. Onze resultaten laten zien dat de pupil respons gevoelig is voor specifieke mentale processen die reinforcement leren mogelijk maken. Zo vonden we onder andere dat pupil verwijding de verwachte beloning van iemands toekomstige keuze verried, ver voordat deze keuze openlijk werd gemaakt. Nadat de uitkomst van de keus was verkregen (een beloning of geen beloning), liet de

---

pupil respons zien hoe sterk iemands beloningsverwachting was geschonden, en daarmee dus hoe sterk er moest worden geleerd van de keuze uitkomst om toekomstige keuzes te verbeteren. Dus: fluctuaties in de pupil respons volgen op heel specifieke wijze het proces van reinforcement leren van keuze naar keuze.

Zoals we beschrijven in **Hoofdstuk 1**, suggereren verschillende wetenschappelijke studies dat individuele verschillen in de sEBR iets vertellen over iemands mentale flexibiliteit. Oftewel, ze zeggen iets over hoe flexibel iemand is in focussen op een specifiek doel zonder te worden afgeleid versus hoe goed iemand kan wisselen tussen verschillende doelen als de omgeving dit vereist. Individuen die relatief vaak spontaan knippen blijken beter in het switchen tussen verschillende doelen. Dit is een handige eigenschap als je veel moet multi-tasken, maar kan ook leiden tot verhoogde afleidbaarheid in een taak waarin je je op één specifiek onderdeel moet concentreren.

Met deze kennis in ons achterhoofd hebben we in **Hoofdstuk 3** onderzocht of individuele verschillen in de sEBR iets vertelt over hoe we leren. Meer specifiek: of spontane oogknippers informatie verschaffen over de onderliggende mentale processen die reinforcement leren mogelijk maken. Is het zo dat iemands mentale flexibiliteit hier ook een rol bij speelt? Opnieuw maakten we gebruik van een cognitief model om de onderliggende mentale processen die reinforcement leren veroorzaken gedetailleerd in kaart te brengen. Onze resultaten laten een duidelijke link zien tussen spontane oogknippers en reinforcement leren: op basis van iemands sEBR kunnen we voorspellen op wat voor manier een hij de reinforcement leertaak zal volbrengen. Daarnaast vinden we ook een specifieke link tussen sEBR en de onderliggende mentale processen die reinforcement leren mogelijk maken. Zo verraden spontane oogknippers specifiek hoe gevoelig iemand is voor beloning tijdens het maken van keuzes tussen opties met verschillende waarde. We vonden dat individuen met een lage sEBR gevoeliger voor beloning waren: deze proefpersonen kozen zeer doelgericht opties die met veel zekerheid beloning opleverden. Daarentegen vertoonden individuen

---

met een hoge sEBR minder gevoeligheid: zij kozen vaker voor opties waarvan de beloningswaarschijnlijkheid minder zeker was. Deze bevinding slaat een brug met eerdere studies die spontane oogknippers koppelen aan mentale flexibiliteit. Individuen met een lage sEBR hielden zich duidelijk aan één taak: het verkrijgen van zoveel mogelijk beloning. Individuen met een hoge sEBR leken iets minder door beloning gedreven en hielden zich mogelijk meer bezig met het verkrijgen van andere soorten informatie tijdens de reinforcement leertaak.

Uit **Hoofdstuk 2** en **Hoofdstuk 3** wordt duidelijk dat zowel fluctuaties in de pupil respons als individuele verschillen in de sEBR informatie verschaffen over reinforcement leren. In **Hoofdstuk 4** combineerden we deze twee oogmaten in een experiment. We stelden de vraag of de gecombineerde analyse van fluctuaties in pupil responsen en individuele verschillen in de sEBR informatie geven over hoe individuen leren van beloning. Kunnen we zo meer informatie uit de pupil extraheren dan de reeds bekende pupil verwijding als gevolg van arousal? Een belangrijk detail in deze studie was dat proefpersonen geen keuzes konden maken om beloningen te krijgen; zij leerden enkel de relatie tussen een kleur en het krijgen of verliezen van een beloning zonder dat ze hier iets aan konden doen. Dit heet ook wel klassieke of Pavloviaanse conditionering. Wanneer we de analyse van sEBR buiten beschouwing hielden, waren pupil responsen na het krijgen van onverwachte beloning en onverwacht verlies volledig identiek. De pupil leek in eerste instantie dus ongevoelig voor beloningsleren. Belangrijk, wanneer we ook individuele verschillen in de sEBR analyseerden, toonden beloningseffecten zich in de pupil. Zo vonden we onder andere dat individuen met een lage sEBR een sterkere pupil verwijding hadden nadat zij onverwacht geld verloren. Daarentegen was de pupilverwijding van individuen met een hoge sEBR juist sterker na onverwachte beloning. Deze resultaten suggereren dat de pupil responsen tijdens een beloningsleertaak informatie geeft over iemands gevoeligheid voor beloning. Deze gevoeligheid kon enkel blootgelegd worden wanneer de sOKF ook werd geanalyseerd. Hiermee vormt deze studie een aanwijzing dat pupil verwijdingen door beloningsprocessen in het brein worden beïnvloed. Dit wi-

---

jst erop dat de pupil, naast de bekende gevoeligheid voor arousal, mogelijk ook gevoelig is voor de effecten van beloning.

In dit proefschrift heb ik vanuit verschillende invalshoeken onderzocht op wat voor manier reinforcement leren door het oog wordt gevolgd. **Hoofdstuk 5** vat de bevindingen van mijn proefschrift samen en interpreteert deze in het licht van de huidige literatuur. Ook worden hier nieuwe onderzoeksvragen besproken en de mogelijke toepassing van dit type oogmetingen in de klinische praktijk. Met de bevindingen in dit proefschrift hoop ik een bijdrage te hebben geleverd aan het wetenschappelijk veld en onderzoekers te inspireren deze onderzoekslijn verder op te pakken.